

главным образом, благодаря скользящим нагрузкам, скорости и взаимодействию со средой. Наблюдается приработка износостойкого поверхностного слоя.

На рис. 3 можно увидеть зависимость силы трения от времени испытания. Такие же различия наблюдаются и в коэффициентах трения.

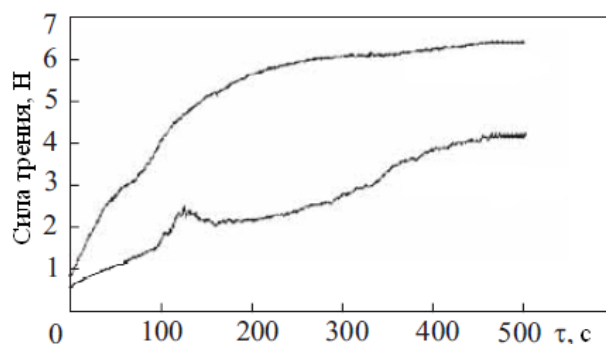


Рис. 3. Диаграмма зависимости силы трения от времени испытания

Литература

1. Трение, изнашивание и смазка: справочник / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. — М.: Машиностроение. — Кн. 1. — 1978. — 400 с.
2. Борисов, Ю.С. Плазменные порошковые покрытия / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова. — Киев.: Наукова думка, 1985. — 321 с.

УДК 621.793.7

ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Н. В. Спиридонов, И. О. Сокоров, Л. И. Пилецкая

Белорусский национальный технический университет, Минск

В процессе эксплуатации тормозных механизмов трактора типа «Беларус» установлено, что повышенному изнашиванию подвержены упоры промежуточных дисков корпуса, расположенные на его внутренней поверхности.

Практика показывает, что использование традиционных методов термоупрочнения (объемная закалка, закалка ТВЧ и т.д.) быстроизнашивающихся деталей не обеспечивает должного эффекта по прочности и износостойкости и создает дополнительные проблемы при последующей механической обработке упрочненных деталей. С учетом этих обстоятельств

наиболее актуальным является использование технологии лазерного термоупрочнения.

Исследованы процессы лазерного термоупрочнения чугуна ВЧ-50 с проплавлением поверхностного слоя металла. Использовались CO_2 -лазеры непрерывного излучения «Комета-2», «Гарпун-2М» и волоконные диодные лазеры ВЛ-2000 и ВЛ-3000.

Исследованы прочностные свойства, формирование микроструктуры, размерные параметры и геометрия зон лазерной закалки чугуна.

Сложность наблюдаемых процессов лазерного термоупрочнения, их количественная оценка определяется, прежде всего, теплофизическими свойствами металла, его фазовыми и структурными характеристиками, энергетическими параметрами лазерного излучения, а также технологическими факторами термообработки. Например, влияние такого параметра, как скорость движения лазерного пятна нагрева при постоянных значениях мощности или плотности мощности лазерного луча, является наиболее существенным, влияющим на последующее формирование профиля поверхности зон оплавления и их размер, микроструктуру и прочностные характеристики упрочненного металла. Другим фактором является наличие сферических графитовых включений в металле, во многом определяющих формирование структуры и свойств закаленного металла.

Наибольший практический интерес представляет изучение свойств и анализ влияния процессов закалки на формирование суммарной площади упрочненной поверхности и профиля зон лазерного термоупрочнения. Практика показывает, что наименее приемлимыми являются методы частичного упрочнения поверхности, когда зоны закалки отстоят друг от друга. Упрочнение с касанием зон упрочнения и упрочнение с частичным перекрытием зон термоупрочнения получили наибольшее распространение.

В результате лазерной закалки металла из жидкой фазы происходят значительные изменения как профиля, так и шероховатости поверхности. Так, при замерах параметров поверхности вдоль упрочненных дорожек величина R_a уменьшалась до $R_a = 3,2$ мкм при значениях $H_{\max} = 11,5$ мкм и $H_{\min} = 6,2$ мкм. Измерения рельефа и шероховатости оплавленной поверхности в зависимости от режимов лазерной термообработки показали значительные изменения профиля поверхности от режимов закалки и, прежде всего, скорости движения зоны нагрева и плотности мощности лазерного излучения.

В табл. 1 показано изменение размеров поверхности зон оплавления (L), глубины зон оплавления (H) и величины зон термического влияния

(H_2) в зависимости от скорости движения лазерного луча по упрочняемой поверхности.

Таблица 1

Размерные параметры зоны оплавления и зоны термического влияния
в зависимости от скорости обработки чугуна ВЧ-50 при $N = 2$ кВт и $d = 4$ мм

| Размерный параметр | Скорость движения детали относительно луча лазера, мм/мин | | | | | | | |
|-----------------------|---|-----|------|------|------|------|------|------|
| | 200 | 600 | 1000 | 1400 | 1800 | 2200 | 2600 | 3000 |
| L , мм | 5,0 | 3,8 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 2,0 | 2,4 | 2,3 |
| H_1 , мм | 2,3 | 1,5 | 0,95 | 0,6 | 0,35 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| H_2 , мм | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,45 | 0,4 | 0,6 | 0,35 | 0,4 |

Процессы, происходящие в металле в области полного проплавления, можно представить как процесс растворения графитовых включений в расплаве и формирования структуры «отбеленного» чугуна. В процессе остывания металла с высокими скоростями кристаллизации процесс за твердевания идет по метастабильной диаграмме состояния фаз «железо-углерод» без выделения свободного графита. Кристаллизация металла происходит с выделения первичных зерен аустенита и затем при температуре порядка 1147 °С идет образование эвтектики ледебурита. В структуре зоны оплавления присутствует мелкодисперсная смесь аустенита и цемента, имеющая дендритное строение. Процессы формирования микро-структуры носят довольно сложный характер.

Измерения глубины зон упрочнения, полученные на различных режимах закалки, показали, что они имеют общую закономерность. Так, с увеличением скорости движения пятна нагрева при фиксированных параметрах диаметра пятна и средней мощности лазера глубина упрочненного слоя уменьшается. Следовательно, увеличение скорости движения пятна нагрева при прочих равных условиях способствует уменьшению глубины закаленного слоя. Изменение скорости влияет и на параметры микротвердости зон термоупрочнения.

Микротвердость зоны оплавления для высокопрочных чугунов марок ВЧ60-2 составляет от 8000 до 10000 МПа, а для ВЧ50 – порядка 6400-9450 МПа. Влияние режимов термообработки на среднее значение микротвердости может значительно изменяться. Так, при увеличении мощности излучения от 0,5 до 1,5 кВт значение микротвердости возрастает, а увеличение мощности в интервале от 1,5 до 2,5 кВт, наоборот, приводит к некоторому снижению микротвердости. В этом случае графит успевает полностью раствориться в расплаве, однако увеличение мощности приводит к увеличению содержания аустенита и уменьшению содержания мартенсита вследствие снижения содержания углерода.

Микротвердость в зоне закалки из твердой фазы ввиду значительной неоднородности формирования структуры обладает значительным изменением от 3000 до 8000 МПа. Таким образом, при анализе структуры зон упрочнения высокопрочного чугуна наиболее четко можно выделить зону оплавления и зону закалки металла из твердой фазы и достаточно размытую по своей структуре переходную область, находящуюся на границе с исходным металлом.

Наибольший практический интерес представляют измерения микротвердости и глубины зон упрочнения на режимах, близких к оптимальным. Так, на образцах, полученных на режимах, близких к оптимальным, при скорости пятна в интервале от 450 мм/мин до 250 мм/мин и диаметре пятна $d \approx 3$ мм при средней мощности лазера $P = 1 - 1,1$ кВт глубина зон упрочнения составляет от 0,8 до 1,2 мм. Зона закалки из твердой фазы значительно меньше и не превышает 0,3 – 0,5 мм.

УДК 621.793.7

**ПРОЦЕССЫ ЗАКАЛКИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА
ПРИМЕНительно К БАРАБАНУ ДИСКА СЦЕПЛЕНИЯ
ТРАКТОРА «БЕЛАРУС»**

Н. В. Спиридонов, А. В. Бабук, И. О. Соколов, Л. И. Пилецкая
Белорусский национальный технический университет, Минск

Лазерная закалка является высокоэффективным современным методом термической обработки материалов.

Одной из проблем при разработке и реализации методов и режимов лазерного термоупрочнения является задача повышения износостойкости деталей машин на труднодоступных поверхностях. Такой задачей является лазерное упрочнение барабана узла сцепления трактора «Беларус».

Разработка технологии лазерного упрочнения быстроизнашивающихся поверхностей барабана узла сцепления, подвергающегося интенсивному изнашиванию, позволит увеличить его ресурс в 1,5 – 2 раза. Достигается это за счет формирования в металле мартенситных структур, обладающих высокой прочностью и износостойкостью.

Лазерная закалка железоуглеродистых сплавов начинается с нагрева в область температур устойчивого аустенита. Конечные свойства закален-